NÅGRA BIDRAG

TILL KÄNNEDOMEN OM

VÄTSKORNAS EMISSION OCH REFLEXION

AKADEMISK AFHANDLING

SOM MED TILLSTÅND AF

VIDTBERÖMDA FILOSOFISKA FAKULTETENS I UPSALA

MATEMATISK-NATURVETENSKAPLIGA SEKTION

FÖR VINNANDE AF FILOSOFIE DOKTORSGRAD

TILL OFFENTLIG GRANSKNING FRAMSTÄLLES

Å FYSISKA LÄROSALEN

TORSDAGEN DEN 29 MAJ 1902 KL. 10 F. M.

AF

TURE RUDBERG

FILOSOFIE LICENTIAT AF ÖSTGÖTA LANDSKAP

UPPSALA 1902

ALMQVIST & WIKSELLS BOKTRYCKERI-A.-B.

Inledning.

Oaktadt det strålande värmet varit föremål för så många förtjänstfulla undersökningar under senaste årtionden, har likväl intet, försåvidt jag af litteraturen kunnat finna, gjorts för att bestämma vätskornas[1] emissionsförmåga.

Hvad deras reflexion för värme beträffar, är litteraturen nästan lika fattig. Endast namnen Melloni[2] och L. Dufour[3] påträffas här. Den förre erhöll med sin termostapel vid reflexion från vatten och öfverhufvud taget vätskor blott 7—8° galvanometersutdrag, men från metaller 20—45°, hvarför han ansåg reflexionsförmågan ringa. Ett 40-tal år senare bestämde L. Dufour solvärmets reflexion från en vattenyta. Några vidare direkta undersökningar synas ej hafva gjorts.

Däremot finnas talrika absorptionsbestämningar både äldre och yngre.

---

[1] Jag tar nu och i det följande vätskor i en något inskränkt bemärkelse och frånräknar metaller i flytande form.

[2] Melloni, Pogg. Ann. der Physik 35 p. 570; 1835.

[3] L. Dufour, Archives des Sciences Physiques et Naturelles XLVIII p. 129; 1873.

Då man alltså föga eller intet visste om vätskornas emissions- och reflexionsförmåga för värme, har författaren på uppmaning af professor Ångström försökt att lämna något bidrag till denna fråga.

För att mäta värmestrålningen har utom i ett enda fall en bolometer användts.

Vätskorna erbjuda visserligen framför andra kroppar en fördel genom sin definierbara yta, men svårigheterna för öfrigt mer än uppväga denna fördel. Resultatet har därför ej blifvit det jag önskade, men tid och omständigheter medgifva mig ej att med vunnen erfarenhet och förbättrade hjälpmedel åter upptaga ämnet.

Undersökningarna hafva utförts å härvarande Fysiska Institution. Innan jag lämnar en redogörelse för metoden och resultaten, hembär jag mitt vördnadsfulla, djupa tack till Fysiska Institutionens prefekt herr prof. d:r Knut Ångström såväl för det oegennyttiga intresse han visat genom att lämna uppslag till ämnet och ställa alla erforderliga instrument till mitt förfogande som ock för all välvillig hjälp under arbetets fortsatta gång. Äfven laborator d:r G. Granqvist är det min glädje att här säga ett hjärtligt tack för alla goda råd.

A. Emissionsbestämningar.

Metod I.

Instrument.

Den fria vätskeytan ställer sig alltid horisontellt. Skall mätinstrumentet utan tillhjälp af speglar eller mer eller mindre diatermana ämnen direkt uppfånga värmestrålarna från densamma, måste det ställas rakt ofvan vätskeytan och dessutom ganska nära, då det här gäller temperaturer under 100°, d. v. s. ringa strålning [1]. Den varma vätskeytan upphettar närliggande luftlager, följden blir en värmekonvektion uppåt mot bolometern. Är vätskan dessutom flyktig, blir konvektionsströmmen starkare, och hvad värre är, ånga kan kondenseras på mätinstrumentets känsligaste delar. Äfven genom sin absorption verkar denna ånga störande. För att undvika denna olägenhet lät jag ett starkt drag från sidan bortsuga de uppstigande varma gaserna och ångorna.

Härvid begagnade jag mig af en för detta ändamål särskildt konstruerad skärm. Fig. 1 visar ett vertikalsnitt af densamma genom centrum.

Bildlikt taladt består den kvadratiska skärmen af två våningar. Den öfre utgöres af en vanlig bleckskärm *s* med ett hål *hh* i midten, hvaröfver en liten

[1] Temperaturen är öfverallt angifven i Celsiigrader.

lucka *ll* med en mindre cirkulär öppning *öö*, 23 mm. i diameter, är förskjutbar. Luckan hålles stängd af en spiralfjäder. Både skärm och lucka äga ut- och inledningsrör för strömmande vatten. Vattnets temperatur och därmed skärmens mätes före inträdet i och efter utträdet ur luckan genom tvenne kvicksilfver-

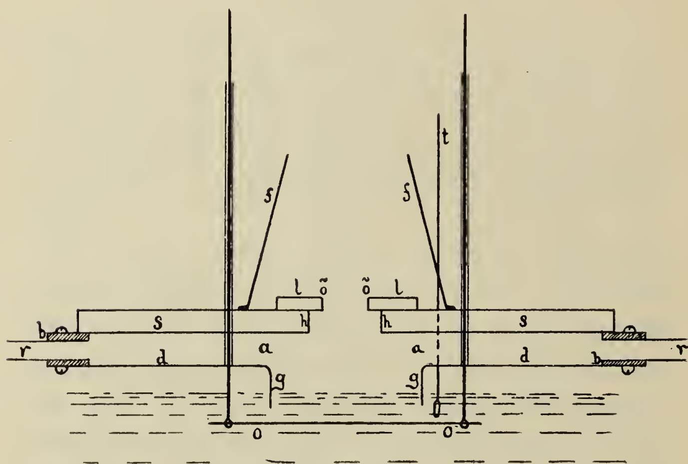


Fig. 1.

termometrar (Geissler), nedsatta i korta profrör, hvarigenom vattnet ledes.

Den nedre våningen *a* bildas af bleckskärmens undre sida, plåten *d*, som medelst skrufvar genom träramen *b* är förenad med den förra och en i plåten *d* fastkittad glascylinder *g*, hvars diameter är 54 mm., och som nedhänger i vätskan ungefär 1 cm. Till rummet *a* leda 4 korsvis ställda rör *r*, af hvilka två, diametralt motsatta, genom slangar och en papp-

skorsten stå i förbindelse med öfre dragluckan i en kakelugn. De båda andra rören leda ut i rummet. Härigenom åstadkoms alltid, vare sig den lilla luckan *l* var öppen eller ej, ofvan vätskeytan ett starkt drag, som sög bort den uppstigande varma luften och ångan.

Skärmen är för öfrigt försedd med trenne hål, ett för kvicksilfvertermometern *t* (Geissler) och de öfriga för glasstängerna till en glimmeromrörare *o*, som skötes medelst en trampinrättning. För att förekomma all reflexion är skärmen mattsvärtad.

Skärmen uppbär en mässingsställning *f*, hvari bolometern fastskrufvas. Den senare var en s. k. ytbolometer. Afståndet mellan gittret och luckan var 10,5 cm. och mellan gittret och strålande ytan 14,6 cm.

Bolometern är densamma, som af lektor Falk blifvit använd vid hans arbete öfver strålande värme, och de uppgifter, jag här lämnar om densamma, äro hämtade ur hans gradualafhandling "Om strålande värmes diffusion vid dess gång genom dunkla medier", Upsala 1893. "Den värmeuppfångande ytan utgjordes sålunda af ett cirkulärt stanniolgitter, på galvanisk väg behandladt med platinaklorid och sedermera sotadt öfver stearinljuslågan. Lamellernas antal var 24 och deras bredd i medeltal 0,4 mm. Gittret var medelst shellackfernissa fästadt på en ebonitring, 16 mm. i inre diameter, hvilket sålunda också var den bestrålade ytans storlek. Detta gitter kompenserades i den Wheatstone'ska bryggan af ett annat, så nära som möjligt identiskt med det förra och liksom detta fästadt

på en ebonitring. Det elektriska motståndet hos det förra gittret var = 6,3 ohm, hos det senare = 5,9 ohm. Ringarna med gittren ställdes efter hvarandra och förenades med en 16 mm. lång mässingsstaf, som äfven utgjorde strömledning mellan gittren. För att förhindra det bortre gittrets uppvärmning anbringades mellan gittren en liten dubbel pappskärm. Hela detta system placerades sedan inuti själfva bolometerröret, som utgjordes af ett med dubbla väggar försedt, 12,4 cm. långt mässingsrör med en inre diameter = 31,0 mm. Vid dess mot värmekällan vända ända, hvars afstånd till det bestrålade gittret var = 64,5 mm., anbragtes ett med en cirkulär öppning (diameter = 20,0 mm.) försedt, svärtadt trälock. Inuti röret mellan denna öppning och det värmeuppfångande gittret placerades efter hvarandra trenne pappskärmar med cirkulära öppningar, hvilkas diametrar afpassades efter dimensionerna hos den stympade kon, som hade gittret och bolometeröppningen till grundytor. Ändamålet med denna anordning var att utestänga mera divergerande strålar.

Bolometerrörets andra ända täcktes af ett lock, i hvilket voro fästade trenne klämskrufvar för strömledning till gittrets ändar, vid hvilka koppartrådar medels skrufvar voro fastklämda, och till mässingsstafven, som förenade de båda gittren.

Rörets insida, liksom för öfrigt alla inre delar, var matt svärtad.

De bägge motståndsrullar *R* (fig. 2), till hvilka strömmen grenade sig, innan han gick in i gittren,

voro förfärdigade af fin, öfverspunnen nysilfvertråd, inneslutna i en gemensam bleckdosa och där omgifna af bomull för att förhindra deras uppvärmning utifrån. Deras motstånd hade gjorts lika med motsvarande gitters och sålunda äfven sins emellan ungefär lika, såsom villkoret för största känslighet hos bryggan fordrar. Från motståndsrullarna leddes strömmen in i en å ett därtill lämpadt stativ utspänd järntråd *M*,

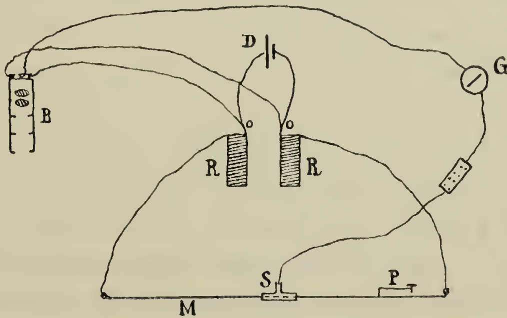


Fig. 2.

å hvilken fanns en rörlig kontaktsinrättning *S*, bestående af ett med kvicksilfver fylldt glasrör, böjdt i T-form, hvars horisontala gren omslöt järntråden, under det den vertikala mottog ledningstråden från galvanometern *G*. Denna senare stod å andra sidan genom ledning till en af klämskrufvarna å bolometerns lock i förbindelse med den lilla metallstafven, som förenade de båda gittren. Genom flyttning af den rörliga kontakten kunde "bryggan" före hvarje försök så regleras, att ingen ström gick igenom galvanometern".

Som strömkälla användes ett Daniells element D. För att i hvarje fall hålla reda på instrumentets känslighet slöts då och då ett litet grenmotstånd P, anbragt på järntråden M. Utslaget på galvanometern blef då ett mått på känsligheten enligt den anvisning prof. Ångström[1] gifvit.

Galvanometern var af prof. Ångströms konstruktion. Det astatiska nålsystemet bildades af små bågböjda, magnetiserade urfjädrar, fästade på olika höjd vid en vertikalt upphängd aluminiumstaf, som vid sin nedre ända dessutom uppbar en liten täckglasspegel. Hvar och en af småmagneterna svängde i fältet inom hvar sin induktionsrulle. Dämpningen åstadkoms genom en vid spegeln fästad glimmervinge och en vertikalt ställd glasskifva, som kunde flyttas mer eller mindre nära den förra. Å det vertikala glasrör, som vid sin öfre del uppbar magnetsystemet, kunde riktmagneten fastskrufvas vid olika höjd alltefter den känslighet, man önskade erhålla.

Rullarna, med 8 ohms motstånd hvardera, voro kopplade bredvid hvarandra, och detta gjorde, att jag ej förrän efteråt upptäckte, att den ena rullen måste ha ett kontaktsbrott, så att den ej tjänstgjorde. Detta kan dock ej ha inverkat på mina resultat på annat sätt, än att känsligheten blef mindre än nödvändigt.

Galvanometeravläsningarna gjordes med kikare och skala enligt Poggendorffs metod. Afståndet spegel-skala utgjorde 177 cm. På grund af platsens läge

---

[1] K. Ångström, Öfversigt af Kongl. Vet. Akad. Förh. 1888. N:o 6.

måste galvanometern ställas så, att smämagneterna vändes vinkelrätt mot magnetiska meridianen, hvilket hade till följd, att instrumentets nollpunkt ej höll sig så konstant. Utslagen voro proportionella mot strömstyrkan upp till 200 skaldelar.

Observationsmetod.

Vätskan förvarades i ett glaskärl, stående i en något vidare, emaljerad kastrull. Mellanrummet fylldes med sand eller vatten. Vätskedjupet var 4,5 cm. Upphettningen skedde på ett sandbad medelst Bunsenlågan.

Fördelaktigast hade det nu varit, om jag under mätningarna kunnat hålla vätskans temperatur konstant, men försök att observera, medan lågan brann under sandbadet. visade sig totalt fruktlösa.

Vätskan upphettades därför afsides i rummet och flyttades sedan med sandbadet under bolometerskärmen, hvarefter observationerna verkställdes vid sjunkande temperaturer.

Drygt en halftimme förut hade strömmen slutits i brygginrättningen till bolometern. Härigenom hade strömmen hunnit blifva tämligen konstant och värmeförhållandena på grund af strömvärmet stationära.

Vätskan omrördes hela tiden äfven under observationerna.

Det var svårt att få galvanometern lugn, då bolometern hade denna ofördelaktiga ställning. I allmänhet vandrade nollpunkten något i utslagets riktning. Försök att eliminera detta genom att taga första utslaget, då luckan öppnades, och sedan med det nya

jämviktsläget som utgångspunkt observera utslaget i motsatt riktning, då luckan stängdes, visade sig omöjligt, emedan det nya jämviktsläget aldrig blef nog fixt. Jag tog därför blott första utslaget, då luckan öppnades. På samma sätt gick jag tillväga vid känslighetsbestämningarna, hvilka för öfrigt togos för hvar 5:te observation.

Vid afläsningen af termometrarna begagnades kikare. Hvarje observation innefattar följande bestämningar i tidsföljd:

1:o Skärmens temperatur = mediet af temperaturerna t_1 och t_2 i profrören.

2:o Vätskans temperatur T_1.

3:o 1:sta galvanometerutslaget $\boldsymbol{\alpha}$, då luckan uppdrages.

4:o Vätskans temperatur T_2.

Häraf erhålles 1:sta utslaget $\boldsymbol{\alpha}$ för vätskans temperatur $T = \frac{1}{2}(T_1 + T_2)$, skärmens temperatur $t = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$ och känsligheten $\boldsymbol{K}$. Galvanometerutslaget är nu proportionellt med strålningen. För att få utslagen komparabla måste de förvandlas till samma känslighet K enligt formeln

$$\alpha = \frac{K}{\boldsymbol{K}}\boldsymbol{\alpha}.$$

Innan jag öfvergår till en redogörelse för resultaten, vill jag nämna, huru de till samma känslighet reducerade observationerna behandlats. Som skärmens temperatur t alltid varit omkring 15° så när som på högst 1° variation, har jag ur hvarje observations-

serie tagit mediet af alla temperaturdifferenser $T - t$ med motsvarande galvanometerutslag α, hvilka (temperaturdifferenserna) ej differerade på mer än 2° och sålunda fått för hvarannan grads temperaturdifferens motsvarande galvanometerutslag; men som dessa temperaturdifferenser i allmänhet ej infallit på hela grader, hvilket är fördelaktigt, då det gäller att komparera olika serier, har jag genom interpolation skaffat mig temperaturdifferenser på hela jämna grader och motsvarande galvanometerutslag. De så erhållna temperaturdifferenserna ha sedan ökats med medelvärdet af skärmens temperatur, d. v. s. 15°. På detta sätt har jag för hvarje udda temperaturgrad hos vätskan fått motsvarande strålningsutslag, hvilka återfinnas i tabellerna. Detta förfaringssätt är riktigt, såvidt man kan anse strålningskurvan vara en rät linje inom hvarje temperaturintervall på 4°. Strängt taget är det ej så, men genom räkning har jag funnit afvikelserna så små, att de kunna försummas.

För att förvissa mig om att strålningen från botten och omrörare ej trängde fram till bolometern, fäste jag på omröraren omväxlande blanka och svärtade zinkskifvor samt gjorde strålningsbestämningar. Oaktadt dessa skifvor fördes upp 1 cm. nära ytan, kunde jag hvarken iakttaga någon minskning eller ökning af galvanometerutslaget. En enda vätska, svafvelsyra, har naturligtvis ej kunnat undersökas på detta sätt. Dock tror jag, att detsamma gäller äfven för denna vätska.

Resultat.

Föremål för undersökning voro följande vätskor: vatten, koncentrerad alunlösning, järnvitriollösning, paraffinolja, koncentrerad svafvelsyra och kolsvafla.

Med afsikt valdes dessa vätskor, som i absorptionshänseende visa så olika egenskaper.

Tab. 1.

Vatten.

Vätsketemp.	Galvanometerutslag			
	ser. 1	ser. 2	ser. 3	medium
55°	—	96,0	—	96,0
53°	91,9	91,0	—	91,5
51°	85,9	85,9	88,0	86,6
49°	80,0	80,5	81,3	80,6
47°	74,4	74,8	74,6	74,6
45°	68,9	69,2	69,6	69,2
43°	63,5	63,7	64,9	64,0
41°	58,4	58,3	59,8	58,8
39°	53,5	53,0	54,5	53,7
37°	48,6	48,2	49,2	48,7
35°	43,9	43,5	44,4	43,9
33°	39,4	38,7	39,8	39,3
31°	34,2	33,9	34,6	34,2
29°	29,5	29,8	29,9	29,7
27°	25,0	—	25,1	25,1
25°	—	—	20,6	20,6
23°	—	16,2	16,2	16,2
21°	—	—	12,2	12,2

Tab. 2.

Alunlösning.

Vätske-temp.	Galvanometerutslag			
	ser. 1	ser. 2	ser. 3	medium
63°	—	—	119,2	119,2
61°	—	—	113,5	113,5
59°	110,3	—	107,7	109,0
57°	105,1	—	102,0	103,6
55°	—	—	96,3	96,3
53°	—	—	90,4	90,4
51°	—	—	84,6	84,6
49°	—	81,0	79,0	80,0
47°	—	75,3	73,8	74,6
45°	—	69,5	68,5	69,0
43°	65,5	—	63,3	64,4
41°	60,5	—	58,0	59,3
39°	55,4	—	52,6	54,0
37°	49,9	49,3	47,6	48,9
35°	44,7	44,3	42,8	43,9
33°	39,5	39,3	37,9	38,9
31°	35,0	—	33,2	34,1
29°	30,2	—	28,5	29,4
27°	25,6	—	—	25,6
25°	21,1	—	—	21,1
23°	16,8	—	—	16,8

Tab. 3.

Svafvelsyra.

Vätske-temp.	Galvanometerutslag		
	ser. 1	ser. 2	medium
55°	98,3	—	98,3
53°	91,9	91,4	91,7
51°	85,5	85,2	85,4
49°	79,4	79,4	79,4
47°	73,6	73,7	73,7
45°	68,4	68,0	68,2
43°	63,2	62,7	63,0
41°	57,9	57,8	57,9
39°	52,2	52,9	52,6
37°	47,5	47,7	47,6
35°	43,1	42,6	42,9
33°	38,2	38,0	38,1
31°	33,6	33,4	33,5
29°	29,0	29,0	29,0
27°	—	—	—
25°	—	—	—
23°	16,0	16,1	16,0
21°	—	11,9	11,9

Tab. 4.

Paraffinolja.

Vätske-temp.	Galvanometerutslag		
	ser. 1	ser. 2	medium
57°	106,8	—	106,8
55°	100,1	—	100,1
53°	93,8	—	93,8
51°	87,7	—	87,7
49°	82,6	—	82,6
47°	76,1	77,2	76,7
45°	70,3	71,0	70,7
43°	64,8	65,6	65,2
41°	59,4	59,9	59,7
39°	54,1	54,5	54,3
37°	49,0	49,3	49,2
35°	44,3	44,1	44,2
33°	39,3	39,7	39,5
31°	34,2	34,9	34,6
29°	29,4	29,8	29,6
27°	25,0	25,2	25,1
25°	20,3	20,7	20,5

Vid järnvitriollösning och kolsvafla har blott en serie observationer tagits, och meddelas dessa i tab. 5, som dessutom innehåller medelvärdena af föregående vätskors strålning.

Tab. 5.

Vätske-temp.	Strålning i galvanometerutslag						
	Vatten	Alunlösning	Järnvitriollösning.	Paraffinolja	Svafvelsyra	Kolsvafla	Sot
63°	—	119,2	—	—	—	—	123,6
61°	—	113,5	—	—	—	—	117,3
59°	—	109,0	—	—	—	—	111,1
57°	—	103,6	—	106,8	—	—	105,0
55°	96,0	96,3	—	100,1	98,3	—	99,0
53°	91,5	90,4	—	93,8	91,7	—	93,1
51°	86,6	84,6	—	87,7	85,4	—	87,3
49°	80,6	80,0	—	82,6	79,4	—	81,6
47°	74,6	74,6	—	76,7	73,7	—	76,0
45°	69,2	69,0	—	70,7	68,2	—	70,5
43°	64,0	64,4	—	65,2	63,0	—	65,2
41°	58,8	59,3	59,2	59,7	57,9	—	59,9
39°	53,7	54,0	54,0	54,3	52,6	—	54,7
37°	48,7	48,9	49,1	49,2	47,6	—	49,7
35°	43,9	43,9	43,9	44,2	42,9	—	44,7
33°	39,3	38,9	38,9	39,5	38,1	—	39,8
31°	34,2	34,1	34,1	34,6	33,5	—	35,0
29°	29,7	29,4	29,3	29,6	29,0	—	30,3
27°	25,1	25,6	24,6	25,1	—	24,1	25,7
25°	20,6	21,1	—	20,5	—	19,8	21,2
23°	16,2	16,8	—	—	16,0	15,6	16,8
21°	12,2	—	—	—	11,9	11,7	12,5

Vi se af tabellerna 1—4, att de olika serierna för en och samma vätska variera ibland flera procent. Af tab. 5 framgår, att *inom dessa felgränser de undersökta vätskorna hafva ungefär samma strålning*.

För jämförelses skull undersöktes en sotytas strålning vid omkring 100°. Som lock till en vanlig bleckdosa fastlöddes en tunn kopparskifva, hvilken förzinkades, behandlades därefter med platinaklorid och sotades sedan öfver stearinljuslågan. Genom dosan leddes vattenånga, hvars tryck mättes. Häraf beräknades temperaturen. Sotytan ställdes vertikal, skärmen med bolometern resp. vertikal och horisontal, men för öfrigt på samma afstånd som förut.

Flera sådana sotade ytor undersöktes, men deras strålning varierade mycket. Jag har därför utvalt de tvenne ytor, som gåfvo största strålningen, och ändock tror jag på grund af senare försök, att dessa ytor gifvit något för låga värden.

Med tillhjälp af Stefans[1] strålningslag, som sotytan approximativt följer, har den senares strålning vid lägre temperaturer beräknats, och återfinnas dessa värden i tab. 5.

Af denna jämförelse framgår, att *de undersökta vätskorna stråla nästan som sot*.

Här finnas flera felkällor utom galvanometernålens redan omtalade vandring. Under experimentets gång visade det sig, att strålningsvärdena blefvo lägre på kvällarna än på förmiddagarna, hvarför jag,

[1] J. Stefan, Wien. Akad. Ber., 2te Ser., LXXIX, p. 391—428; 1879.

såvidt möjligt var, alltid observerade på förmiddagarna. Denna variation torde dels bero på bolometerkänslighetens minskning med gittrens stigande temperatur, dels och kanhända mest på det ökade draget i skärmen. Strålningen bestämmes nämligen af ett mer eller mindre tjockt lager vid ytan och är sålunda beroende af yttemperaturen. Ökas draget, afkyles ytan af tvenne skäl dels genom beröring med den kalla luftströmmen dels genom afdunstning.

Vidare ligger nog trots draget ett starkt mättadt lager ånga öfver de flyktiga vätskornas ytor vid högre temperaturer. Både genom absorption och egenstrålning skulle denna ånga kunna perturbera fenomenet.

De senare felen, om de förefunnes i någon högre grad, skulle endast göra strålningen för liten, och sålunda skulle slutsatsen om vätskornas stora strålning fortfarande vara berättigad.

En svårare anmärkning vore den, att jag här endast observerat en absolut svart kropps strålning, emedan luftrummet i skärmen bildar liksom en hålkropp. I så fall kunde jag ej draga den ringaste slutsats beträffande den verkliga storleken af dessa vätskors strålning.

En närmare granskning af fig. 1 visar dock, att denna anmärkning här saknar all betydelse. Skärmens dimensioner och bolometerns afstånd äro nämligen så afpassade, att ingen stråle från glascylindern, som alltid genom ledning är något upphettad, kan nå fram till gittren vare sig direkt eller efter en enda

reflexion i den plana vätskeytan. De öfriga väggarna i hålrummet hafva samma temperatur som vattnet i skärmen, och deras strålning betyder därför intet. Dessutom äro de svärtade och sålunda utan reflexion.

Metod II.

Instrument.

För att genom en variation af metoden skaffa kontroll på föregående resultat och möjligen utsträcka observationerna till högre temperaturer undersöktes strålningen från rinnande vatten och paraffinolja.

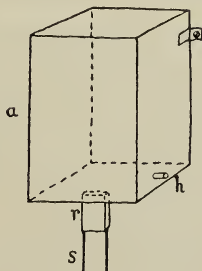


Fig. 3.

Jag lät därför göra tvenne fyrkantiga bleckkärl *a* (fig. 3) med 28 cm. höjd och resp. 225 och 150 cm.^{2} basytor. På undersidan af botten anbragtes ett 6 cm. långt prismatiskt ansatsrör *r* med $3 \times 0{,}7$ cm.^{2} genomskärning. Vid de tvenne smalaste kanterna af detta fastlöddes grofva kopparspröt *s*, som sträckte sig 8 à 9 cm. nedom mynningen. Inuti kärlen funnos klaffventiler samt omrörare, och genom ett litet hål *h* nedtill infördes en kvicksilfvertermometer (Geissler till 212°). Bleckkärlen fästades med skrufvar vid en träställning.

Den varma vätskan hälldes i dessa kärl till ungefär 22 cm. höjd. Då vätskan strömmade ut, följde den spröten och bildade sålunda mellan dessa ett utspändt vätskelager, hvilket tjänstgjorde som strålande yta. En därunder stående blecktratt i förening med en knäböjd rörledning förde sedan den varma vätskan till ett längre bort stående uppsamlingskärl.

Hvad dessa vätskeskikts utseende beträffar, var ytan ganska ojämn. Detta gällde framför allt vatten och vid högre temperaturer äfven paraffinolja. Tjockleken varierade dessutom betydligt under utströmningen beroende på den hastiga tryckändringen.

Framför det stora bleckkärlet stod en fallskärm af zinkplåt, hvarigenom vatten leddes. Dess temperatur, som hölls vid ungefär 15°, bestämdes på samma sätt som vid föregående anordning. Hålet i skärmen hade en diameter af 16,5 mm.

Bolometern ställdes horisontellt. Afståndet mellan det bestrålade gittret och vattenskärmen var 32,3 cm. Ungefär midt emellan båda anbringades en dubbel bleckskärm för att skydda bolometern för strålning från uppsamlingskärlet och rörledningarna.

I detta läge var bolometern ej utsatt för de varma luftströmmar och gaser, som alltid uppstå i omedelbar närhet till den upphettade vätskan, och som i föregående metod voro så till hinders.

En enda liten förändring hade bolometern undergått. Genom det dubbla mässingsröret hade nämligen ett hål borrats, och i detta insattes en termometer, hvars kvicksilfverbehållare befann sig mellan de båda

gittren. På detta sätt kunde de senares temperatur bestämmas.

Galvanometern var en annan, men af likartad konstruktion. Rullarna hade 20 ohms motstånd hvardera och voro kopplade bredvid hvarandra. Svängningstiden var omkring 8 ½ sek. och känsligheten $0{,}8 . 10^{-9}$. Afståndet spegel-skala var 227 cm. Afläsningarna kunde göras på 0,2 à 0,3 skaldelar när. Galvanometern hade nu en fördelaktigare ställning, i det att småmagneterna voro parallela med magnetiska meridianen.

Några andra förbättringar behöfva ock omnämnas. Nysilfvertråden i grenmotstånden och mättråden af järn utbyttes mot trådar af manganin. Kvicksilfverkvantiteten i det T-formade röret borttogs, och i stället trycktes trådarna hårdt mot hvarandra genom en liten skrufinrättning. I stället för det föga konstanta Daniells element användes en förträfflig Gülcher-ackumulator, så att variationerna i känslighetsbestämningarna under samma serie aldrig uppgingo till 1 % och för tvenne olika serier till högst 3 %. Af två serier, som differerade så mycket, hade den ena tagits strax före, den andra strax efter en laddning af ackumulatorerna. Vidare fingo galvanometer och strömkälla byta plats i "bryggan".

Alla ömtåligare delar voro skyddade af tjock vadd och därofvan stanniolpapper.

Observationsmetod.

Vid en observation omrördes vätskan först noga. Därefter iakttogs temperaturen i kärlet, ventilen drogs

upp och strax därefter fallskärmen. Äfven nu aflästes blott 1:sta utslaget i ena riktningen, enär vätskan hunnit rinna ut, innan det nya jämviktsläget inträdt. Till sist observerades temperaturen i skärmen.

Det var omöjligt att få galvanometerns nollpunkt fullkomligt stilla. Vid undersökningen af paraffinolja, som upphettades till 150°, gick nollpunkten mycket långsamt till en början åt samma håll som utslaget, men vände vid omkring 60° och gick sedan åt motsatt håll. För vatten däremot, hvars temperatur aldrig gick öfver 70°, var vandringen ej så regelbunden.

I alla händelser var emellertid denna rörelse så långsam, att den blott med högst 0,5 skaldel kan hafva influerat på utslaget.

Innan jag meddelar några sifferresultat, måste omnämnas, att temperaturen i strålen ej är densamma som i kärlet, utan säkerligen något lägre.

Jag har dels med ett termoelement, koppar-konstantan, dels med en termometer bestämt temperaturdifferensen mellan vätskan i kärlet och strålen.

Tab. 6 innehåller medelvärden af dessa bestämningar.

Tab. 6.

Vätska	Temp.-diff. mellan vätskan i kärlet och strålen vid									
	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°
Vatten	0°,0	0°,1	0°,1	0°,2	0°,2	—	—	—	—	—
Paraff.-olj.	0°,1	0°,1	0°,2	0°,2	0°,3	0°,3	0°,4	0°,4	0°,5	0°,5

Temperatursänkningen är sålunda ej stor.

Resultat.

Vid undersökningen af vattnets strålning togos 6 observationsserier och af paraffinoljans 4, alla under sjunkande temperaturer. Jag har sedan pröfvat, huruvida hvarje serie följde Stefans strålningslag

$$S = a(T^4 - T_0^4) \qquad (1)$$

där S är strålningen i en godtycklig enhet, T strålande kroppens och T_0 omgifningens temperatur samt a en konstant.

Tab. 7 visar, huru a i en serie för vatten varierar, då temperaturen sjunker från 63° till 35°. Tab. 8 gäller paraffinolja mellan 122° och 34°. Häraf framgår, att a ej är konstant, utan växer något med temperaturen. För vatten är naturligtvis detta mycket litet märkbart, då temperaturintervallet aldrig öfverstiger 28°, men för paraffinolja, där det senare uppgår ända till 88°, synes tydligt, att a ökas med temperaturen.

Tab. 7.

Vatten.

Temp.	a
63°	$9{,}57 . 10^{-9}$
|	9,63
|	9,72
|	9,50
|	9,59
|	9,45
|	9,25
35°	9,44

Tab. 8.

Paraffinolja.

Temp.	a
122°	$9{,}37 . 10^{-9}$
|	9,25
|	9,30
|	9,37
|	9,34
|	9,28
|	9,11
|	8,93
|	9,05
|	8,79
|	8,87
|	8,38
|	8,96
|	9,01
34°	8,62

Vattnets afvikelse från Stefans lag är dock så obetydlig, att den ligger inom felgränsernas område.

Paraffinolja däremot följer ej strängt taget Stefans lag.

Både vatten- och paraffinoljeserierna hafva likväl omräknats med en empirisk formel

$$\delta = (a_1 + b_1 \Delta T)(T^4 - T_0^4); \quad \Delta T = T - T_0 \quad (2)$$

och meddelas här som exempel på öfverensstämmelsen mellan observerade och beräknade värden en serie från hvarje vätska.

Tab. 9.

Vatten.

Strålning.

Observerad	Beräknad	Diff.
51,6	51,9	—0,3
47,3	46,5	+0,8
41,7	42,4	—0,7
38,5	38,6	—0,1
34,7	33,8	+0,9
29,6	30,4	—0,8
28,7	27,8	+0,9
22,1	23,1	—1,0
20,9	21,1	—0,2
19,6	19,0	+0,6

Tab. 10.

Paraffinolja.

Strålning.

Observerad	Beräknad	Diff.
137,7	139,1	—1,4
119,0	119,8	—0,8
98,6	97,1	+1,5
87,6	86,3	+1,3
76,7	76,8	—0,1
60,9	60,1	+0,8
55,2	55,6	—0,4
47,2	47,7	—0,5
42,1	42,2	—0,1
36,3	36,7	—0,4
34,1	34,2	—0,1
29,1	28,9	+0,2
26,2	26,2	±0,0
21,5	21,3	+0,2
18,9	19,1	—0,2
17,0	16,9	+0,1

Af teckenföljden hos differenserna i denna paraffinoljeserie såväl som i de återstående tre framgår, att de beräknade värdena till en början äro för stora, blifva därefter för små, för att till slut åter blifva för stora eller m. a. o., att den observerade strålningskurvan skäres på två ställen af den beräknade, som kröker något mera. Resultatet hade sannolikt blifvit

bättre, om jag medtagit en term $c_1 \Delta T^2$, men på grund af de felkällor, som äfven här finnas, lönar det sig ej.

För att jämföra de olika serierna har jag med formel 2 beräknat strålningen för hvar 5:te grad, då omgifningens temperatur antages vara 15°.

Tab. 11.

Vatten.

Temp.	Strålning i galvanometerutslag						
	(16°,5) ser. 1	(16°,0) ser. 2	(17°,5) ser. 3	(17°,0) ser. 4	ser. 5	(17°,5) ser. 6	Med.
60°	—	52,3	—	—	—	52,1	52,2
55°	—	45,0	—	—	44,4	44,7	44,7
50°	37,8	38,1	—	—	37,5	37,5	37,7
45°	31,6	31,8	31,7	—	31,2	31,2	31,5
40°	25,7	25,6	25,5	25,7	25,2	25,0	25,5
35°	19,9	19,8	19,7	20,0	19,4	—	19,8
30°	14,6	—	14,3	14,5	—	—	14,5

Tab. 12.

Paraffinolja.

Temp.	Strålning i galvanometerutslag				
	(16°,5) ser. 1	(17°,5) ser. 2	(16°,5) ser. 3	(17°,5) ser. 4	Med.
120°	—	—	162,4	161,5	162,0
115°	—	149,7	150,4	149,6	149,9
110°	138,9	138,2	138,8	138,2	138,5
105°	127,9	127,3	127,9	127,4	127,6
100°	117,4	116,8	117,3	116,9	117,1
95°	107,4	106,9	107,3	107,0	107,2
90°	97,8	97,3	97,6	97,5	97,6
85°	88,8	88,3	88,6	88,6	88,6
80°	80,1	79,6	79,9	79,8	79,9
75°	71,8	71,4	71,6	71,6	71,6
70°	63,9	63,5	63,7	63,8	63,7
65°	56,5	56,1	56,3	56,4	56,3
60°	49,3	49,0	49,1	49,2	49,2
55°	42,6	42,3	42,4	42,5	42,5
50°	36,1	35,9	35,9	—	36,0
45°	30,1	29,9	30,0	—	30,0
40°	24,3	—	24,1	—	24,2
35°	18,9	—	18,8	—	18,8

Vi se häraf, att öfverensstämmelsen de olika serierna emellan är ganska god. De siffror inom parentes, som stå ofvan serienumren, angifva gittrens temperatur. Af galvanometerutslagen synes, att käns-

ligheten minskas, då temperaturen stiger, men blott ungefär 1/2 % pr grad. Jag har därför ej gjort någon korrektion för denna felkälla.

För att vi skola kunna säga, att dessa relativa värden angifva ifrågavarande vätskors (obs.! ej vätskeskikts) strålning, fordras, att vätskeskikten äro tillräckligt tjocka för att fullständigt absorbera en likartad strålning. Detta villkor är uppfylldt för vatten (se sid. 37). Hvad paraffinoljan angår, kan jag blott säga, att om skiktet genomsläpper något, så är det högst 1 % af strålningen från en absolut svart kropp vid 100° (se sid. 43). Det skulle sålunda kunna hända, att paraffinoljestrålen är något för tunn och sålunda strålningen något för liten. Mycket kan det ej vara.

Af tabellerna framgår i alla händelser, att vatten strålar några procent mer än paraffinolja.

Men hur stor är dessa vätskors strålning jämförd med en absolut svart kropp?

Då jag gjorde de försök, som äro omtalade under rubriken Metod I, kände man blott teoretiskt den absolut svarta kroppen, men samma år gåfvo Wien och Lummer[1] anvisning på, hur denna lätt skulle kunna realiseras, nämligen genom användande af en s. k. hålkropp.

Den hålkropp jag använde bestod af en dubbelväggig zinkdosa, invändigt svärtad med platina och sedan sotad. Hålets diameter var 2,9 cm. Genom

---

[1] W. Wien und O. Lummer, Wied. Ann. 56 p. 451; 1895.

mellanrummet leddes vattenånga. En termometer i dosan angaf temperaturen.

Resultatet af 25 observationer blef, att hålkroppens strålning vid 100°, då rumstemperaturen antogs 15 °, skulle uttryckt i det godtyckliga måttet galvanometerutslag vara 123,0. Beräkna vi härur med tillhjälp af Stefans lag samma kropps strålning vid lägre temperaturer[1] och jämföra dessa värden med medeltalen af de föregående vätskebestämningarna i tabellerna 11 och 12, erhålles följande tabell.

---

[1] Lagen är verifierad blott mellan 100° och 300° af O. Lummer och E. Pringsheim, Wied. Ann. LXIII p. 375; 1896 och Ann. der Phys. III p. 159; 1900.

Tab. 13.

Strålning.

Temp.	Vatten	Paraffin-olja	Abs. sv. kr.	I proc. af abs. sv. kr.	
				Vatten	Paraffin-olja
120°	—	162,0	167,3	—	96,8 %
115°	—	149,9	155,6	—	96,3
110°	—	138,5	144,3	—	96,0
105°	—	127,6	133,1	—	95,9
100°	—	117,1	123,0	—	95,2
95°	—	107,2	113,0	—	94,9
90°	—	97,6	103,3	—	94,5
85°	—	88,6	94,1	—	94,2
80°	—	79,9	85,2	—	93,8
75°	—	71,6	76,7	—	93,4
70°	—	63,7	68,6	—	92,9
65°	—	56,3	60,8	—	92,6
60°	52,2	49,2	53,4	97,8 %	92,1
55°	44,7	42,5	46,3	96,5	91,8
50°	37,7	36,0	39,5	95,4	91,1
45°	31,5	30,0	33,0	95,5	90,9
40°	25,5	24,2	26,8	95,2	90,3
35°	19,8	18,8	20,9	94,7	90,0
30°	14,5	—	15,3	94,8	—

Paraffinoljans strålning skulle sålunda ökas från 90 % vid 35° till 96,8 % vid 120°, d. v. s. med inalles närmare 7 %. En del af denna ökning, högst 3 à 4 %, torde kunna förklaras genom nollpunktsvan-

dring, som betyder mycket vid låga temperaturer, då utslagen äro små. På sin höjd 1 % kan möjligen bero därpå, att strålen vid låga temperaturer rinner trögare och då blir för tunn. Att paraffinoljan afviker från Stefans strålningslag bör ej heller förvåna, ty oljan undergår en stor fysisk förändring under upphettningen. Viscositeten minskas nämligen betydligt. Det är sålunda strängt taget ej samma kropp, hvars strålning bestämmes vid de olika temperaturerna.

Hvad vatten beträffar, är redan sagdt, att ökningen ligger inom försöksfelens gränser och mycket väl kan förklaras genom nollpunktsvandring.

Vid denna undersökning hafva vi sålunda funnit, att *vatten och paraffinolja hafva mycket stor strålning, öfver 90 % af absolut svarta kroppen* och vidare att *paraffinoljan strålar några procent mindre än vatten.*

Båda metoderna hafva alltså lämnat som hufvudresultat, att *vätskornas strålning är stor, närmande sig sotets.*

Men då den senare metoden afgjordt säger, att paraffinolja strålar mindre än vatten, synes den första snarare vilja vända om förhållandet. Felkällorna äro dock så stora och svåra att uppskatta vid den först använda metoden, att det resultat, den senaste undersökningen lämnat, är mera tillförlitligt.

B. Försök att bestämma det strålande ytlagrets tjocklek.

Antag att vi hafva en vätskemassa, hvars temperatur är densamma alltigenom, och hvars yta är horisontell. Vidare tänka vi oss vätskan uppdelad i mycket tunna skikt, parallela med ytan. Hvart och ett af dessa strålar, men ju djupare ned ett skikt ligger, desto mera af dess strålning absorberas i ofvanliggande lager, och till sist nås ett skikt, hvars strålning praktiskt taget fullständigt absorberas. Ett vätskelager med detta djup till tjocklek strålar — låt oss säga — *S*. Ökas tjockleken, erhålles fortfarande samma strålning, men minskas den, blir äfven strålningen mindre. *S* är sålunda ett maximivärde.

Med vätskornas strålning menas nu detta maximivärde. Huru tjockt är detta lager — det strålande, som vi vilja kalla det — för vätskorna? Denna fråga beror naturligtvis på vätskornas absorption för sin egen strålning. I syfte att få någon upplysning i denna sak, undersökte jag vatten och paraffinolja och gick därvid tillväga på följande sätt.

Vatten.

Af tunn bleckplåt förfärdigades tvenne kilformiga strilar *S*. På fig. 4a ses strilen framifrån, på

fig. 4 b från sidan. Vid *ss* var en fin springöppning, 4 à 5 cm. lång och 1 mm. bred. Baksidan af strilen sträckte sig något nedom springöppningen (se *hh*), och från den senares yttersta kanter utgingo två parallela mässingsspröt *m*. Båda strilarna fästes vid ett stativ så, att spröten blefvo vertikala och den ena strilen stod strax bakom den andra. Från ett ofvanstående kärl leddes vatten genom kautschukslangar med klämmare

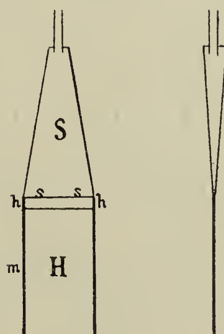


Fig. 4 a. Fig. 4 b.

till hvar och en af dessa strilar, och detta bildade mellan spröten en utspänd vätskehinna *H*. Sedan strålen lämnat spröten, drog den ihop sig och blef tjockare. På detta ställe insattes vid den främre strilen den cylindriska behållaren till en termometer. Vattnet bortleddes äfven här genom rörledningar.

Framför den främre strilen ställdes skärmen med bolometern. Den senare med tillbehör var densamma som i Metod I.

Hvarannan gång bestämdes strålningen från det främre skiktet ensamt, hvarannan gång från båda gemensamt. Om 1 betecknar galvanometerutslaget i förra fallet, 1+2 i det senare, erhöllos följande värden.

Tab. 14.

Temp.	Galv. utslag		Diff.
	1	1+2	
29°	29,6	29,7	— 0,1
27°	24,9	25,1	— 0,2
25°	20,4	20,7	— 0,3
23°	16,1	16,4	— 0,3

Vi se häraf, att skiktet 1 absorberar nästan all strålning från skiktet 2.

Därefter fick samma vatten af rumstemperatur gå genom skärmen och strilen 1, men temperaturen hos vattnet i strilen 2 varierades. Oaktadt den senare temperaturen gick upp till 45° och utslaget för skiktet 2 ensamt blef omkring 60 skaldelar, kunde jag ej se något utslag, då skiktet 1 sköts emellan.

Att åstadkomma ett tunnare skikt lyckades mig ej.

Vi kunna nu säga, att det strålande ytlagrets tjocklek måste vid vatten vara af samma storleksordning som tjockleken hos skiktet 1.

Bestämning af vattenskiktets tjocklek.

Att direkt söka uppmäta tjockleken hos skiktet 1 med mikrometer eller dylikt var omöjligt, enär strålens plan ej

var fixt utan "svankade". Men med tillhjälp af en fotometrisk metod lyckades det så tillvida, att ett ungefärligt värde erhölls.

Grundtanken var att färga strålen med ett lämpligt färgämne, mellan tvenne glasskifvor af samma färgade vatten åstadkomma ett skikt, som absorberade lika mycket ljus som strålen, genom skifvornas afstånd bestämma detta skikts tjocklek, som måste vara lika med den färgade strålens. Med tillhjälp

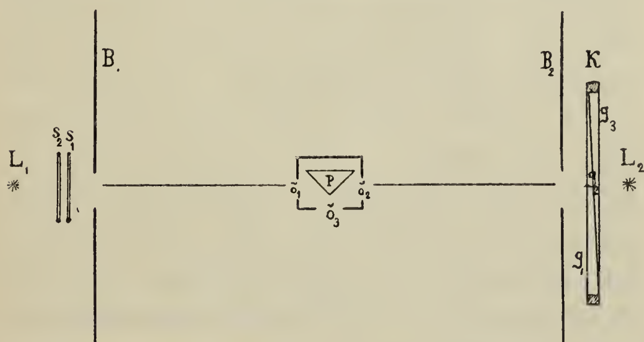


Fig. 5.

sedan af det antagandet, att strålens tjocklek ej undergick någon förändring genom färgämnet, slöt jag till att den ofärgade vattenstrålens tjocklek var lika med den färgades. Den experimentella anordningen var följande.

Fotometern bestod af ett rätvinkligt kritprisma *P* (fig. 5), hvars planslipade sidor reflekterade ljuset från fotogenlamporna L_1 och L_2 mot observatören. Prismat stod vertikalt inuti en mattsvärtad trähuf med de cirkulära lika stora öppningarna $\ddot{o}_1$, $\ddot{o}_2$, $\ddot{o}_3$. Denna huf var förskjutbar längs en skena i riktningen $\ddot{o}_1$ $\ddot{o}_2$.

Tvenne pappskärmar B_1 och B_2 med cirkulära hål tjänstgjorde såsom bländare. Mellan dessa och ljuskällorna anbringades vertikalt å ena sidan dubbelstrilen s_1 s_2, å andra sidan antingen glaskärlet K eller i stället för detta en planskifva. K bestod af tvenne kilformiga glaskärl g_1 g_2 och g_3 g_2, bildade af spegelglasskifvor, där ytterväggarna g_1 g_3 äro parallela. Man skulle kunna kalla det ett dubbelprisma. Rummet g_1 g_2 innehöll färgadt vatten, g_3 g_2 rent vatten. Genom denna anordning ägde ingen nämnvärd ljusbrytning rum. Planskifvan var sammansatt af 3 på hvarandra laggda spegelglasplattor af samma stycke som K:s. Mellan plattorna voro ytterst tunna vattenskikt. Af strilarna s_1 och s_2 stod den förra i förbindelse med det medelst en anilinlösning blåfärgade vattnet, den senare med rent vatten. Naturligtvis var tryckhöjden såväl som slanganordningen densamma som förut. För att få diffus belysning omgåfvos lamporna med oljadt papper.

Först inställdes kalkprismat så, att de båda halfcirkelformiga fälten vid $ö_3$ syntes likformigt belysta, då endast strålen s_2 var i verksamhet och planskifvan inskjuten å andra sidan. Därefter stängdes ledningen till s_2, den nyssnämnda planskifvan utbyttes mot dubbelprismat, och ledningen till s_1 öppnades. Genom att skjuta K längs en mot $ö_1$ $ö_2$ vinkelrät skena med millimeterskala varierades det absorberande vätskelagrets tjocklek och vid en viss inställning erhölls åter likformig belysning. En index angaf nu dubbelprismats läge. Med tillhjälp af konstanterna

för K beräknades häraf det i kilen absorberande vätskelagrets tjocklek, som ju, såsom lätt inses, är vattenstrålens tjocklek. En felinställning längs skenan af 1 mm. medförde ett fel i tjockleken på 0,007 mm. Af 20 observationer differerade de två yttersta värdena på 7 mm., d. v. s. de däraf beräknade värdena på tjockleken på 0,05 mm. Men emedan skiktet ej var jämntjockt och tjockleken dessutom minskades något under utströmningen, anger jag ej densamma noggrannare än på tiondels millimetern. Som ett medelvärde af alla bestämningarna erhölls 0,4 mm.

Det strålande ytlagrets tjocklek för vatten är sålunda ej större än 0,4 mm.

För jämförelses skull kan nämnas att enligt Villari[1] samma storhet för sot uppgår till 0,2 mm., för tusch 0,03 mm. och för pulvriseradt bergsalt 3,45 mm.

Den vattenstråle, hvilken i föregående absorptionsundersökning tjänstgjort som värmekälla, lämnar sannolikt ett värmespektrum, hvars energimaximum faller i närheten af $\lambda = 10\ \mu$.

Att vatten i tunna skikt starkt absorberar strålar af stor våglängd framgår äfven af Paschens[2] undersökningar. Han använde som värmekälla ett svärtadt kopparbleck vid 450°, och af dess spektrum genomsläppte ett 0,08 mm. tjockt vattenskikt nästan ingen energi bortom $\lambda = 6{,}67\ \mu$.

För ännu längre våglängder nämligen reststrålarna från flusspat, sylvin och bergsalt är ett vatten-

---

[1] Villari, C. R. 87, p. 43; 1878.

[2] Paschen, Wied. Ann. 52, p. 220; 1894.

skikt af 1 mm. tjocklek fullkomligt ogenomträngligt enligt hvad Rubens och Aschkinass[1] funnit.

Paraffinolja.

Det visade sig genast, att man på grund af vätskans viscositet kunde åstadkomma mycket tunnare skikt än som var möjligt vid vatten.

Men af flera skäl måste jag afstå från att låta det absorberande skiktet hafva samma temperatur som det bakom varande. Det hade däremot alltid, så när som på ett enda undantag, rumstemperatur.

Anordningen var för öfrigt densamma som omnämndes sid. 20.

Det absorberande skiktet stod mellan de båda skärmarna, och som värmekälla tjänstgjorde oljestrålen från det fyrkantiga kärlet (fig. 3).

För att få springöppningar med mycket jämna kanter förfärdigades strilarna af hårddragen kopparplåt. Spröten förenades nedtill, och strilarna gjordes för öfrigt större och bredare. En gaf till och med ett 7,6 cm. bredt och 17 cm. långt vätskeskikt, d. v. s. en yta af 1,3 dm^2.

Till strilen fördes oljan genom knäböjda mässingsrör från ett högre stående bleckkärl rymmande $2\,^1/_2$ l., försedt med en bottenventil.

För att få oljan att mellan spröten bilda ett sammanhängande vätskeskikt fördes en rak metalltråd

---

[1] Rubens und Aschkinass, Wied. Ann. 64 p. 602 och 65 p. 250; 1898.

intill springöppningen, oljan grep om tråden och följde sedan med, då tråden flyttades utefter spröten.

Den utspända vätskeyta, som på detta sätt erhölls, var synnerligen jämn och vacker. Om man genom en Pulfrich's interferensapparat[1] såg på skiktet, visade det sig, att strålen var tämligen jämntjock i hvarje horisontalsektion utom i närheten af kanterna, där tjockleken hastigt växte, vidare att tjockleken aftog nedåt. Att med detta instrument bestämma densamma var likväl omöjligt, alldenstund strålen var ytterst känslig för de allra minsta skakningar och därvid interferenslinjerna stodo och darrade.

Observationsmetoden var den vanliga med växelbestämningar, hvarannan gång togs värmestrålningen med, hvarannan gång utan absorberande skikt. I förra fallet öppnades först ventilen till strilen. I galvanometerkikaren syntes då, att jämviktsläget i allmänhet ändrades något beroende därpå, att oljan i skiktet ej hade fullt samma temperatur som vattenskärmen. När nollpunkten blifvit lugn, öppnades ventilen till den bakomvarande varma strålen, och observationerna verkställdes på samma sätt som vid strålningsbestämningarna.

Två olika tjocka skikt undersöktes, det ena ungefär dubbelt så tjockt som det andra. Som tjockleken hos dessa skikt ändras med tryckhöjden, borde jag hafva noterat denna, då hvarje observation gjordes. Men undersökningen af den tunnare strålen gaf vid handen, att dess tjocklek ej varierade mycket,

[1] Zeitschrift für Instrumentenkunde p. 365; 1893.

såvida man ej observerade för nära utströmningstidens början eller dess slut. Vid det tjockare skiktet har jag däremot alltid sökt göra observationerna, då oljan runnit ut till hälften ungefär. Som värde på tjockleken har jag för båda skikten tagit medelvärdet under hela utströmningstiden.

Resultat.

Tabellerna 15 och 16 visa, huru många procent af den infallande värmestrålningen, som gått igenom skikten, då temperaturen hos värmekällan — här den bakomvarande tjockare strålen — varierat. Jag har beräknat dessa värden ur observationerna med tillhjälp af den empiriska formeln 2 sid. 24.

Tab. 15.

Skikttjocklek 0,09 mm.

Värme-källans temp.	Genomg. stråln. i proc. af den infallande.				
	Ser. 1	Ser. 2	Ser. 3	Ser. 4	med.
90°	69,9	66,7	69,5	68,3	68,8 %
80°	70,8	68,0	70,0	69,1	69,5
70°	71,6	69,3	70,5	70,0	70,4
60°	72,5	70,7	71,1	71,0	71,3
50°	73,5	72,1	71,7	71,9	72,3
40°	74,4	73,6	72,3	72,9	73,3

med. 70,9 %

Tab. 16.

Skikttjocklek 0,16 mm.

Värme-källans temp.	Genomg. stråln. i proc. af den infallande.		
	Ser. 1	Ser. 2	med.
90°	60,2	62,1	61,2 %
80°	59,8	61,0	60,4
70°	59,5	59,8	59,7
60°	59,1	58,5	58,8
50°	58,7	57,2	58,0
40°	58,4	55,9	57,2

med. 59,2 %

Vi se, att de olika serierna för hvarje skikt sinsemellan afvika, men detta torde bero på tjockleksvariationer, luftblåsor, temperaturändringar m. m. i själfva det absorberande skiktet samt nollpunktsvandringar.

Serierna för de olika skikten visa, att värmekällans temperatur har ett märkligt inflytande. Vid det tunnare skiktet skulle genomstrålingheten minskas, då temperaturen stiger, vid det tjockare tvärtom. För att förklara detta behöfdes en undersökning öfver paraffinoljans spektrala absorption. Det hela synes emellertid tyda på att paraffinolja har starka absorptionsband inom värmekällans spektralområde.

Att på föregående siffervärden använda absorptionslagen och därvid eliminera reflexionen vid skiktets begränsningsytor för att på så sätt finna, hur tjockt

det skikt är, som fullständigt absorberar denna värmekällas strålning, är därför ej tillåtet. Så mycket synes likväl, att *det strålande ytlagrets tjocklek är större för paraffinolja än för vatten.*

För att undersöka, huruvida den vid emissionsbestämningarna använda paraffinoljestrålen var tillräckligt tjock för att gifva maximistrålning, gjorde jag följande försök.

Alldenstund vätskornas strålning till kvantiteten och sannolikt äfven kvaliteten föga afviker från den absolut svarta kroppens, använde jag den senare som värmekälla och nyssnämnda stråle som absorberande medium. Den förut omtalade svarta hålkroppen, upphettad till 100°, ställdes ett stycke bakom strålen. I det ena försöket varierades strålens temperatur. Genom växelbestämningar erhölls utslaget för strålen med och utan svarta kroppen bakom.

Tab. 17.

Strålens temp.	Galvanometerutslag.		Diff.
	med sv. kropp	utan sv. kropp	
82°	85,7	85,8	− 0,1
74°	72,4	71,6	+ 0,8
69°	63,8	63,5	+ 0,3
63°	54,9	54,2	+ 0,7
59°	49,0	48,2	+ 0,8
41°	25,0	25,4	− 0,4
36°	19,8	19,5	+ 0,3

Det synes, som skulle strålen ej vara tillräckligt tjock. Då svarta kroppen ensam gaf ungefär 100 skaldelars utslag, kan häraf den slutsatsen dragas, att om något värme gick igenom, var det mindre än 1 %. Att beloppet ej var större, såg jag för öfrigt genom att observera utslaget, då strålen hade rumstemperatur.

Bestämning af oljeskiktens tjocklek.

Den fotometriska metod, som kom till användning vid vatten, var här olämplig. Efter flera andra försök stannade jag vid följande sätt att gå till väga.

Midtpartiet i strålarna är såsom redan omnämnts tämligen jämntjockt inom hvarje horisontalsnitt. Kunde man nu isolera detta genom tvenne vertikala begränsningslinjer på afståndet a cm., bestämma medelutströmningshastigheten u $^{\text{cm.}}/_{\text{sek.}}$ i ett visst horisontalsnitt samt den vätskemängd m $^{\text{gr.}}/_{\text{sek.}}$, som detta vätskeband lämnade, vore ju tjockleken x cm. i detta horisontalsnitt, om s är oljans spec. vikt, bestämd af relationen

$$m = a \,.\, x \,.\, u \,.\, s.$$

Oljans spec. vikt bestämdes med pyknometern och var vid rumstemp. 0,88.

Utströmningshastigheten erhölls på ett egendomligt sätt. Med tillhjälp af en vattenbläster prässades små luftblåsor genom en mycket fin kapillärspets in i skiktet strax nedanför strilmynningen. Strålen belystes under tiden med intermittent ljus från gnistan till en större induktionsapparat. De små luft-

blåsorna, som följde med oljan, blefvo, hvarje gång gnistan slog öfver, lysande punkter på hinnan som mörkare bakgrund. Antag att blott en enda luftblåsa inprässas vid strilmynningen *s*. Fenomenet skulle då få det utseende fig. 6 visar, om synintrycket i ögat kvarstode tillräckligt länge. Mellan två på hvarandra följande gnistor har luftblåsan flyttat sig vägsträckan *ab*, *bc* eller *cd*. Dessa afstånd äro därför

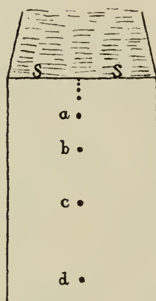


Fig. 6.

relativa mått på luftblåsans hastighet i de midt emellan liggande punkterna under förutsättning, att tiden mellan tvenne gnistor är konstant. Men luftblåsan passerar utför strålen på så kort tid, att någon mätning af dessa afstånd ej medhinnes. Man kan blott med ögonmått säga ungefärliga afståndet. En viktig iakttagelse kunde man likväl här göra. Det hände nämligen då och då, att en luftblåsa från vätskan i det öfre kärlet, efter att ha passerat rörledningen och det inre af strilen, visade sig i skiktet. Vid en jämförelse mellan dennas ljusbilder och den inprässade luftblåsans syntes respektive afstånd lika stora. Den senare be-

höfver sålunda mycket kort tid för att antaga strålens hastighet, och vi kunna därför använda densamma för att mäta strömhastigheten.

Om vi nu i stället för en enda luftblåsa släppa in en serie sådana, ger ju hvar och en af dessa en serie ljusbilder, likformig med den afbildade, men mer eller mindre förskjuten i vertikal riktning. Det ser ut som om de lysande punkterna flyttade sig uppåt eller nedåt. Kunde man nu få dessa luftblåsor att följa lika tätt på hvarandra som gnistorna, så skulle alla de enskilda serierna af ljuspunkter sammanfalla, och vi finge ett varaktigt fenomen likt fig. 6. De lysande punkterna skulle stå stilla. Om antalet luftblåsor som kapillärspetsen lämnade blef 2, 3 etc. gånger så stort som nyss, skulle de lysande punkterna fortfarande stå stilla, men afståndet dem emellan blefve 2, 3 etc. gånger mindre än förut. I det första fallet skulle strömhastigheten, om tiden mellan tvenne följande gnistor togs till enhet, representeras af afståndet mellan två på hvarandra följande ljuspunkter, i de senare fallen af afståndet mellan respektive hvarannan, hvartredje punkt eller, om man så vill, 2, 3 etc. gånger afståndet mellan två följande.

Det märkliga visade sig nu, att om kapillärspetsen sköts mer eller mindre djupt in i strålen, kunde ljuspunkterna för en stund fås att stå stilla och något af föregående fall inträffa.

Fenomenet var naturligtvis också beroende af trycket i blästern. För att utjämna detta infördes i ledningen en större luftreservoar, och en kran med

skrufinrättning reglerade lufttillförseln till kapillärspetsen.

Ljuset från gnistan koncentrerades på oljeskiktet genom en lins. Men som skiktet är mycket känsligt för luftdrag, uppmättes afståndet mellan tvenne ljuspunkter ej direkt på själfva skiktet, utan med tillhjälp af en lins alstrades en bild af strålen på en hvit pappskärm, hvarest mätningarna ägde rum.

Strax oljan påsläppts till strilen, var det omöjligt att göra några bestämningar liksom också vid slutet, då vätskan nästan runnit ut.

Några bestämda variationer i strömhastigheten med den tryckhöjd 38—48 cm., som här kom ifråga, kunde jag ej finna. Därtill var observationsområdet för begränsadt och observationsfelen (7 %) för stora.

För det tunnare skiktet fann jag, att den relativa strömhastigheten i midten af skiktet ändrades linjärt med afståndet från strilmynningen. Inom ett midtparti af minst 2,5 cm. bredd var hastigheten densamma i hvarje horisontalsnitt.

Strömhastigheten i det tjockare skiktet bestämdes blott i en enda punkt, nämligen midtpunkten för den yta, som användes vid absorptionsbestämningarna. Den befanns där vara densamma som i motsvarande punkt på det tunnare skiktet, något som var att vänta, då allt utom springöppningarnas bredd var lika i båda fallen.

För att få det absoluta värdet på strömhastigheten måste tiden mellan tvenne på hvarandra följande gnistor bestämmas. Därtill användes en strobo-

skopisk metod. En pappskifva med 18 cirkulärt ställda utskärningar, lika breda som mellanliggande sektorer, roterades med så stor hastighet, att skifvan belyst af gnistan tycktes stå stilla. Denna hastighet bestämdes genom att direkt mäta antalet hvarf på en viss tid. Till att börja med roterades skifvan för hand, men som det var ganska svårt att få jämn hastighet på detta sätt, fick en liten vattenturbin drifva den. Genom att mer eller mindre sträcka på den

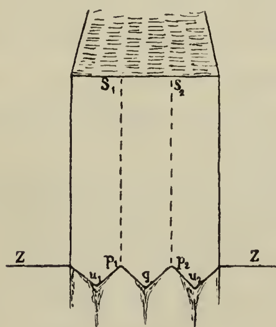


Fig. 7.

trådlina, som öfverflyttade turbinens rörelse till skifvan, kunde man åstadkomma de allra minsta variationer i den senares rotationshastighet och på så sätt få skifvan att synas stå nästan fullkomligt stilla. Gnisttiden, i medeltal 0,036 sek., visade sig likväl vara ända till flera procent beroende af uppslamningen i vätskan till strömbrytaren.

För att kunna isolera ett bestämdt midtparti af strålen böjdes en mässingstråd *zz* (fig. 7) i zickzackform och infördes i strålen så långt ned som möjligt. Skiktet

kom härigenom att nedtill begränsas af mässingstråden, och vid spetsarna u_1, q_1, u_2 rann oljan ut. Insläpptes nu luftblåsor i strålen genom kapillärspetsen, visade det sig, att hvarhelst än den senare fördes mellan lodlinjerna s_1 p_1 och s_2 p_2, alla luftblåsor fortsatte lodrätt ned och gingo ut vid q. Fördes spetsen utom detta område, gingo luftblåsorna ut genom någon af spetsarna u_1, u_2. Detta gällde äfven i närheten af linjerna s_1 p_1 och s_2 p_2. När kapillärspetsen infördes på själfva linjerna, delade luftblåsorna sig mellan u och q. Allt detta förutsätter likväl symmetri å ömse sidor om spetsarna p_1 och p_2, d. v. s. tråden böjdes så, att s_1 p_1 och s_2 p_2 delade vinklarna u_1 p_1 q och q p_2 u_2 midt itu.

Oljeskiktet s_1 p_1 p_2 s_2 var sålunda isoleradt, och det behöfdes blott att uppmäta dess bredd 25 mm. samt utströmningsmängden per sekund från spetsen q. Det visade sig härvid, att utströmningsmängden var större i början än i slutet, hvilket är helt naturligt. Variationen gick dock för den tunna strålen upp till högst 10 %, för den tjockare till 25 %.

Resultat.

Som resultat af alla dessa bestämningar fick jag följande värden på de sid. 40 och 41 omtalade absorberande skiktens medeltjocklek:

Det tunnare = 0,09 mm. maximifel 15 %.
„ *tjockare* = 0,16 mm. „ 20 %.

C. Reflexionsbestämningar.

I.

Om för en och samma våglängd λ, vid samma temperatur, e_λ betecknar den svarta kroppens emissionsförmåga, E_λ och A_λ emissions- och absorptionsförmågan hos en gifven kropp, så är enligt Kirchhoffska lagen

$$\frac{E_\lambda}{A_\lambda} = e_\lambda .$$

Hålla vi oss nu till ett så tjockt lager af kroppen, att all ingående strålning absorberas samt vidare med R_λ beteckna den energi, som reflekteras då den infallande har intensiteten 1, så blir

$$R_\lambda + A_\lambda = 1 .$$

Häraf

$$E_\lambda = e_\lambda - e_\lambda R_\lambda$$

eller genom integration öfver hela strålningsgebitet

$$\int E_\lambda d\lambda = \int e_\lambda d\lambda - \int e_\lambda R_\lambda d\lambda .$$

Om R betecknar medelvärdet af alla R_λ, d. v. s.

$$\int e_\lambda R_\lambda d\lambda = R . \int e_\lambda d\lambda$$

blir

$$\int E_\lambda d\lambda = \int e_\lambda d\lambda - R . \int e_\lambda d\lambda \qquad (3)$$

eller med ord:

Den gifna kroppens strålning är lika med den svarta kroppens, minskad med den bråkdel af den senares strålning, som reflekteras från den gifna kroppens yta.

Lecher[1] har genom ett något afvikande resonnemang kommit till samma slutledning. Han säger: "Jeder Körper würde, sobald er in der betreffenden Richtung hinlänglich dick ist, genau so wie ein schwarzer Körper strahlen, wenn es keine Reflexion der Strahlung beim Heraustritte aus dem Medium geben würde."

Rosenthals[2] vackra undersökningar öfver emission och reflexion hos kvarts, glimmer och glas bekräfta fullständigt satsens sanning.

Nu hafva emissionsundersökningarna visat, att både vatten och paraffinolja stråla i normal riktning öfver 90 % af en absolut svart kropp och den förra vätskan mer än den senare. Reflexionen vinkelrätt mot ytan bör sålunda enligt (3) för båda dessa vätskor vara mindre än 10 % och större för paraffinolja än för vatten.

En undersökning af dessa vätskors reflexion kan därför blifva en kontroll på emissionsbestämningarna.

Egentligen skulle dessa undersökningar verkställas på det sättet, att man för olika temperaturer hos dessa vätskeytor bestämde deras reflexionsförmåga för den strålning, som en svart kropp af samma temperaturer utsänder. Men då utförandet häraf möter praktiska svårigheter, har jag inskränkt mig till att mäta reflexionsförmågan, då vätskeytorna haft rumstemperatur och en 100-gradig sotyta tjänstgjort som värmekälla. Anordningen var för öfrigt följande.

---

[1] E. Lecher, Wied. Ann. **17** p. 490; 1882.

[2] H. Rosenthal, Wied. Ann. **68** p. 799; 1899.

Strålningen från sotytan passerade hålet i en vattenskärm, därefter ett diafragmarör, reflekterades antingen vid vätskeytan eller vid en platinaspegel in i bolometern. Diafragmaröret och bolometern uppburos af hvar sin metallarm, som kunde röras utefter en graderad cirkelskifva. Som vätskeytan är ytterst känslig för skakningar, ställdes hela apparaten på stenplattan vid fönstret.

Genom växelbestämningar erhölls först vätskeytans reflexion i förhållande till platinaspegelns. Sedan ändrades apparatens ställning så, att bolometern blef rörlig i horisontalplanet, hvarefter platinaspegelns reflexionsförmåga bestämdes för samma infallsvinklar som förut.

Dessa mätningar voro dock ganska svåra. Galvanometerns nollpunkt ville ej hålla sig lugn på grund af luftströmmar kring bolometern, som här genom närheten till fönstret hade en ofördelaktig plats, och utslagen voro små ända ned till ett par skaldelar. De procentiska siffror, som i tab. 18 meddelas, äro därför säkra blott på 0,5 när.

Tab. 18.

	Reflexionsförmåga vid infallsvinkeln			
	20°	50°	60°	70°
Vatten . . .	3	(4,7)	6,7	13,4 %
Paraffinolja	4	(5,9)	8,0	15,9 %

Parenteserna omkring siffrorna angifva, att platinaspegelns reflexionsförmåga här erhölls genom interpolation. Vi se sålunda, att *reflexionsförmågan i normalens riktning hos båda dessa vätskor är ringa, och vidare att den är större för paraffinolja än för vatten*, allt en bekräftelse på emissionsbestämningarna. Fullkomlig öfverensstämmelse mellan teori och experiment kan man ej vänta, då isynnerhet emissionsundersökningarna äro förbundna med ganska stora svårigheter.

Af tab. 18 framgår vidare, att *reflexionsförmågan ökas med infallsvinkeln, till en början långsamt, därefter hastigare.*

Den värmekälla, för hvilken vattnets och paraffinoljans reflexionsförmåga i det föregående bestämts, har enligt beräkning med tillhjälp af den Wienska[1] förskjutningssatsen sitt energimaximum omkring $\lambda = 8\mu$. För ännu längre våglängder, nämligen reststrålarna från flusspat $\lambda = 24\mu$ och $\lambda = 32\mu$, visar Rubens' och Aschkinass'[2] undersökning, att vattnets reflexion fortfarande blott är några få procent.

* * *

Det kunde af flera skäl ha sitt intresse att se, huru mycket en vattenyta reflekterar af infallande solljus. Jag begagnade mig därvid ej af bolometern, utan af den elektriska kompensationspyrheliometer, som prof.

---

[1] W. Wien, Wied. Ann. LII p. 132; 1864.

[2] Rubens und Aschkinass, Wied. Ann. 64 p. 602; 1898.

K. Ångström[1] konstruerat. Det senare instrumentet är visserligen ej så känsligt som det förra, men då det gäller att jämföra strålningar, som ej äro alltför svaga, men dock af mycket olika intensitet, är den elektriska kompensationspyrheliometern betydligt mycket bekvämare att använda.

Till sina väsentligaste delar består detta instrument af tvenne parallela, framtill platinasvärtade manganinband, hvilka växelvis kunna insättas i strömbanan till ett galvaniskt element. På baksidorna af banden, men isolerade från dessa, äro de två lödställena till ett termoelement anbragta. I ledningen till de senare är en d'Arsonvals galvanometer insatt. Manganinbanden äro fästade på en ebonitram inuti ett metallrör, försedt med nödiga bländare. Framtill vid rörets mynning finnes en vridbar skärm, så att det ena eller andra bandet kan efter behag beskuggas. En termometer, instucken från sidan i röret, anger bandens temperatur.

Konstanterna för det här använda instrumentet voro:

Bandens elektriska ledningsmotstånd	0,08152 ohm pr cm.
Temperaturkoefficient	0,00045
Bandens bredd	0,151 cm.
Absorptionsförmåga	0,98

För att med detta instrument mäta strålningen från en viss värmekälla bestrålas det ena bandet s_1,

[1] K. Ångström, Wied. Ann. 67 p. 633; 1899.

genom det andra, beskuggade s_2, sändes en ström, hvars styrka genom inskjutande af motstånd regleras, till dess att galvanometern anger, att ingen ström går genom termoelementen, och att sålunda temperaturen hos banden är lika. Den så afpassade strömstyrkan i_1 afläses på en Siemens' och Halskes milliampèremeter. Sedan bestrålas s_2, s_1 beskuggas etc., och observationerna verkställas i samma ordning som nyss. Den strömstyrka, som då kompenserar strålningen, är i_2. Värmekällans strålning q är nu gifven genom uttrycket

$$q = k\, i^2$$

där $i^2 = \frac{i_1^2 + i_2^2}{2}$ och k en konstant för instrumentet i fråga, hvilken något varierar med temperaturen.

Med tillhjälp af en Foucaults heliostat, försedd med en utmärkt silfverspegel, kastades solljuset i ett bredt knippe horisontellt in i rummet. En annan plan silfverspegel reflekterade detta knippe ned emot vattnet i ett glaskärl, hvars botten var belaggd med en mattsvart pappskifva. Från vattenytan återkastades en del af ljuset in i mätinstrumentet. Reflexionsvinkeln var 20°. Samma lutning mot lodlinjen hade därför pyrheliometern. Sedan den reflekterade strålningsenergien på detta sätt bestämts, gällde det att få den direkt mot vattenytan infallande. Fördenskull flyttades pyrheliometern ofvanför planspegeln, och den senare vreds uppåt, till dess att strålningen åter föll in i instrumentet, som fortfarande hade samma ställning till lodlinjen. Genom växelbestämningar erhöllos följande värden på reflexionsförmågan.

	2,09 %
	2,13 „
	2,16 „
	2,07 „
Med.	2,11 %.

Vid 20° infallsvinkel reflekterar sålunda vatten 2,11 % af solvärmet.

Redan i inledningen hafva Dufours undersökningar omnämts. Dessa utfördes på Genèversjön. Som mätningsinstrument användes med kimrök svärtade kopparkulor, i hvilka termometrar infördes. Resultatet af hans undersökningar blef följande.

När infallsvinkeln var

66°	73°	77°	81°	86°

blef reflexionsförmågan respektive

2 %	3 %	12 %	26 %	49 %.

Sannolikt äro dessa värden för små. Reflexionsförmågan ökas nog hastigare med infallsvinkeln. Orsakerna härtill kunna vara flera. Efter nutidens fordringar arbetade Dufour med mindre goda instrument, och hans observationsmetod är ej fri från invändningar. Så t. ex. hade ej den direkta och den reflekterade strålningen passerat samma väg genom de absorberande luftlagren.

I detta sammanhang förtjäna Lord Rayleighs[1] fotometriska mätningar af vattnets reflexionsförmåga

[1] Lord Rayleigh, Phil. Mag. 34 p. 317; 1892.

för det ljus, en glödlampa utsänder, att omnämnas. Vid små infallsvinklar fann han värdet 2,08 %. Det teoretiska värdet enligt Fresnels formler är 2,04 %.

II.

De föregående reflexionsbestämningarna hafva gällt den totala strålningen. I det följande vill jag redogöra för några spektrala reflexionsmätningar, hvarvid jag användt den af prof. Ångström[1] angifna metoden att fotografiskt registrera ultraröda spektrum. Prof. Ångströms apparat härför ställdes välvilligt till mitt förfogande. För vidare kännedom om densamma hänvisas till nyss citerade afhandling. Här lämnas endast en kort redogörelse för instrumentets konstruktion.

Apparaten bestod till väsentlig del af en spektrometer, där linserna voro utbytta mot konkava speglar enligt Rubens' anordning och kikaren ersatt med en trådbolometer. Prismat var af bergsalt och hade en brytande vinkel = 59° 49′. Kollimatorröret med spegel var fast, prismat och bolometern med tillhörande spegel rörliga dock så, att det förra, en gång ställdt på minimideviation, genom den vanliga parallelogramutväxlingen förblef i detta läge. Från instrumentets axel och fast förbunden med bolometern utgick en cirka 2,6 meter lång aluminiumarm, som balanserades af en motvikt. Ändan af armen uppbar en kasett med fotografiplåt i horisontalt läge. Den senare kunde med armen fritt röras inuti en svärtad, väggfast trälåda försedd med

[1] K. Ångström, Physical Review Vol III n:r 14 p. 137; 1895.

lock. I detta var en lång, fin springöppning uttagen, vinkelrät mot armens rörelseriktning.

En aperiodisk galvanometer stod något mer än 1 meter ofvanför trälådan. Ljuset från den vertikala tråden i en liten 8-volts glödlampa, som stod i jämnhöjd med galvanometerspegeln, kastades af den senare mot en samlingslins och därifrån mot ett prisma, hvilket åter reflekterade strålarna lodrätt nedåt, så att på fotografiplåten en bild af tråden alstrades. Allt var för öfrigt så anordnadt, att denna bild var vinkelrät mot springöppningen i trälådan, och då galvanometerspegeln vred sig, flyttades bilden parallelt med springöppningen. Den senare hade till uppgift att begränsa bilden på plåten till en ljuspunkt.

Bolometern och samtidigt därmed aluminiumarmen flyttades af ett urverk med lod.

Allt eftersom olika delar af spektrum föllo på bolometerbandet, erhöllos olika galvanometerutslag och kurvan på fotografiplåten visade sambandet mellan deviation (abscissa) och motsvarande strålning (ordinata).

Som plåten ej kunde läggas på fullkomligt samma sätt vid det ena eller andra tillfället, fanns strax intill galvanometerspegeln en annan fast sådan („mirspegel"), tack vare hvilken på plåten alltid uppdrogs en baslinje, angifvande rörelseriktningen.

Med tillhjälp af denna apparat har jag nu undersökt vattnets reflexion spektrobolometriskt inom området $\lambda = 1{,}1\ \mu$ till $\lambda = 4{,}4\ \mu$.

Som värmekälla användes först en båglampa, hvilken matades af ett ackumulatorsbatteri på 56 volt.

Lampan reglerades för hand, så att strömmen hela tiden hölls vid 9 ampère.

Anordningen var för öfrigt följande. Medelst en konkav silfverspegel af 0,68 m. fokaldistans koncentrerades bågljuset. Det konvergenta ljusknippet träffade en plan silfverspegel, reflekterades nedåt mot vätskeytan, därifrån åter upp mot planspegeln, passerade vidare en positiv bergsaltlins och alstrade till sist en bild af ljusbågen på kollimatorns springöppning. Denna var vid alla dessa försök 0,3 mm. bred.

Bolometern ställdes därefter på största möjliga känslighet, plåten lades in, och urverket sattes i gång. På så sätt erhölls den spektrala energifördelningen hos den reflekterade strålningen.

För att få motsvarande kurva för den direkta strålningen vreds planspegeln så, att det från konkavspegeln kommande konvergenta ljusknippet reflekterades direkt in i kollimatorn. Nu måste man tillse, att utslaget blef lagom stort, så att det höll sig inom plåten. Fördenskull minskades strömstyrkan i bryggan genom inskjutande af lämpliga motstånd. Därefter som förut.

På grund af spektrometerns uppställning måste vätskekärlet placeras på ett trästativ midt på golfvet och var sålunda utsatt för skakningar, då någon rörde sig i angränsande rum, men för att i möjligaste mån förringa olägenheten häraf arbetades på kvällarna, då allt var lugnt och stilla.

För att kunna använda de erhållna kurvorna för kvantitativa bestämningar måste man känna nollpunkts-

linjen, d. v. s. den linje, som registreras, då ingen strålning faller på bolometerbandet. Jag lät därför registrera nollpunkten ett stycke i början och slutet af kurvan genom att skugga för värmekällan och antog sedan, att nollpunkten approximativt flyttade sig efter en rät linje.

Som utgångspunkt för att bestämma deviationen i en viss punkt på kurvan togs läget af det starka absorptionsband, som på hvarje kurva visar sig i följd af rummets kolsyra. Vinkelafståndet härifrån bestämdes genom jämförelse med en af prof. Ångström förut tagen plåt, där aluminiumarmens ställning för hvar 10:de bågminut registrerats. På detta sätt erhöllos relativa värden på deviationen. Våglängden för det nyssnämnda absorptionsbandet uppges något olika af Langley, Ångström, Julius och Paschen. Jag har därför tagit ett medelvärde 4,4 μ. Ur Langley's observationer[1], som inom detta område fullständigt stämma öfverens med senare undersökningar, har jag fått motsvarande brytningsindex = 1,5208. Häraf beräknas deviationen till 38° 48′,5. Nu känna vi genom de erhållna observationerna deviationen i absolut mått för hvarje punkt på strålningskurvorna. Med tillhjälp af Langley's nyssnämnda observationer erhållas därefter motsvarande våglängder.

Fig. 8 visar i naturlig storlek ett par af de kurvor, som registrerades. Den prickade är båglam-

---

[1] Langley, Ann. de Chim. et de Phys. (6) 9 p. 433; 1886.

pans spektrum, den heldragna har erhållits efter reflexion från vatten under nästan lodrät incidens. Båda äro registrerade i samma riktning.

Se vi först på den direkta kurvan, finna vi inböjningar vid 39° 33′, 39° 20′, 39° 8′, 38° 48′,5. De

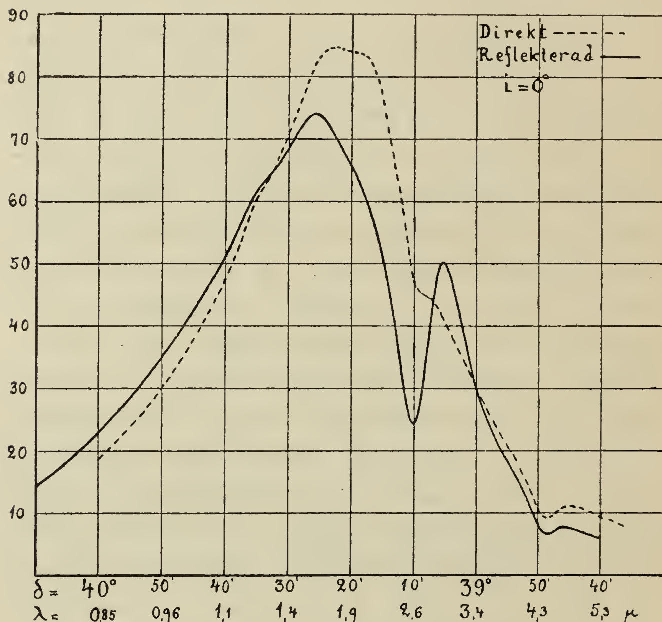


Fig. 8.

två förstnämnda härröra uteslutande från absorption i rummets vattenånga, den sista uteslutande af kolsyran och inböjningen vid 39° 8′ af både vattenånga och kolsyra[1].

---

[1] Paschen, Wied. Ann. 53 p. 335; 1894.

Den kurva, som erhållits efter reflexion från vatten, visar äfven dessa absorptionsband, men afviker för öfrigt högst väsentligt från den direkta. Den har två maxima. Det första, vid 39° 26′, ligger till vänster om den direkta kurvans, det andra mellan de båda kolsyrebanden, ej långt från det första af dessa. Ett stort minimum, mellan båda dessa maxima, ligger strax till vänster om vattenångans och kolsyrans band.

Andra erhållna kurvor hafva i hufvudsak haft samma utseende som detta par.

För att få ett relativt mått på reflexionsförmågan för olika våglängder har jag uträknat förhållandet mellan ordinatorna i homologa punkter för den efter reflexion från vatten erhållna energikurvan och den direkta. Trenne par kurvor I, II, III hafva gifvit följande värden:

Tab. 19a.

	39° 33′,5	39° 28′,5	39° 18′,5	39° 10′,3	39° 8′,5	39° 5′	38° 58′,5	38° 48′,5
I	0,91	0,86	0,68	0,47	0,67	1,06	0,72	0,50
II	1,02	0,96	0,75	0,52	0,69	1,20	0,90	0,70
III	1,06	1,02	0,88	0,62	0,95	1,68	1,10	—
med.	1,00	0,95	0,77	0,54	0,77	1,31	0,91	0,60

För öfverskådlighetens skull hafva dessa tal omräknats, så att de äro lättare jämförbara.

Tab. 19b.

	39° 33′,5	39° 28′,5	39° 18′,5	39° 10′,3	39° 8′,5	39° 5′	38° 58′,5	38° 48′,5
I	1,00	0,95	0,75	0,52	0,74	1,17	0,79	0,55
II	1,02	0,96	0,75	0,52	0,69	1,20	0,90	0,70
III	0,90	0,87	0,75	0,53	0,81	1,43	0,94	—
med.	0,97	0,93	0,75	0,52	0,75	1,27	0,88	0,63

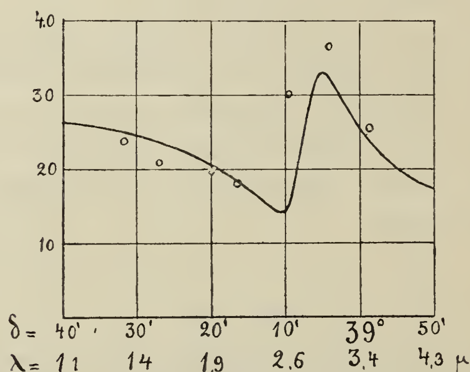


Fig. 9.

Öfverensstämmelsen torde väl i det stora hela få anses så god som man på grund af osäkerheten genom nollpunktsvandring kan vänta.

Häraf framgår, att *reflexionsförmågan ej är konstant, utan med stigande våglängder först långsamt aftagande, så hastigt stigande för att åter aftaga.*

Kurvan å fig. 9, den s. k. reflexionskurvan, hvars

ordinator äro proportionella mot medelvärdena i tab. 19a, visar grafiskt denna variation.

För att i någon mån variera experimentet utbyttes båglampan mot solljus. Därvid användes den förut omnämnda heliostaten. Som energien redan bortom första kolsyrebandet i solljusets ultraröda spektrum är mycket svag, voro mätningarna svåra. De små cirklarnas lägen (fig. 9) angifva de relativa värden på reflexionsförmågan, som jag erhöll af en kurva för solljus. Punkten vid 39° 10′ är i synnerhet osäker, ty den utgör förhållandet mellan mycket små ordinator. I det stora hela gå variationerna åt samma håll som förut.

Af kurvan 9 synes, att *reflexionen har ett maximum vid 39° 6′ d. v. s. våglängen 3 μ*. Nu säger teorien för absorberande medier, att de strålar, ett ämne företrädesvis absorberar, också måste starkare reflekteras. Man har sålunda skäl att vänta ett absorptionsband vid $\lambda = 3\mu$. Julius[1] och Paschen[2] hafva också funnit att vatten kraftigt absorberar mellan $\lambda = 2{,}358\mu$ och $\lambda = 3{,}769\mu$, samt att absorbtionen har sitt maximum vid $\lambda = 3\mu$. Resultatet af mina undersökningar är sålunda en bekräftelse på teorien. Hvad det stora minimum beträffar, som föregår detta reflexionsmaximum, kan jag ej förklara detsamma.

För att se, hvilket inflytande infallsvinkeln hade, registrerades en kurva (fig. 10), där denna vinkel

[1] W. H. Julius, Verhandl. des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses p. 275. Berlin 1893.

[2] Paschen, Wied Ann. 52 p. 219; 1894.

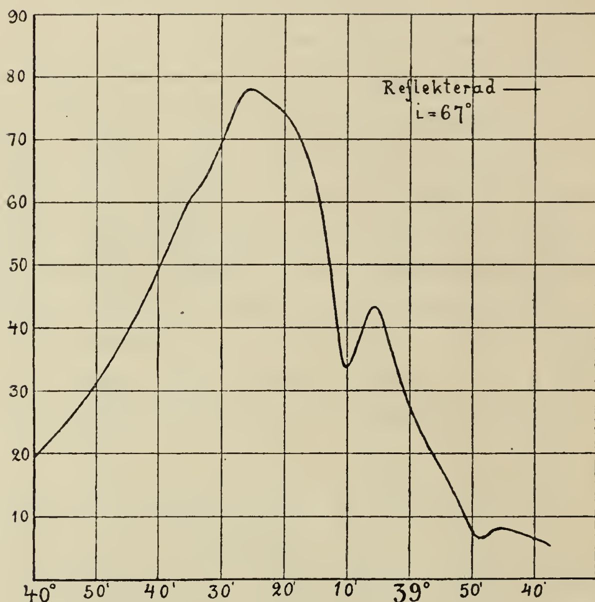


Fig. 10.

uppgick till 67°. Af denna kurva, jämförd med motsvarande för lodrät incidens, synes, att variationerna i reflexionsförmågan minskats.

Äfven paraffinolja har undersökts med afseende på den spektrala reflexion, men kurvorna visade ej något särskildt karaktäristiskt, utan tycktes här reflexionen vara likformig.

Gäller det att på detta område göra några noggranna kvantitativa bestämningar, måste man återgå till den gamla välkända, men mödosamma metoden med kikare och skala.

Sammanfattning af resultaten.

De ofvan anförda undersökningarna hafva sålunda ledt till följande resultat:

1. *Den af Lecher uppställda satsen, att hvarje kropp, som är tillräckligt tjock, skulle stråla som en svart kropp, om strålarna inifrån ej ledo någon reflexion vid gränsytan, har bekräftats för vätskor.*
2. *Som vidare reflexionsförmågan är liten, blir emissionsförmågan mycket stor, nästan som hos svarta kroppar.*
3. *Det strålande ytlagrets tjocklek är för vatten högst 0,4 mm.*
4. *Tvenne paraffinoljeskikt af 0,09 och 0,16 mm. tjocklek genomsläppa i medeltal resp. 71 och 59 % af paraffinoljans strålning mellan 30° och 120°.*
5. *Vätskornas reflexionsförmåga ökas med infallsvinkeln, så länge den senare är mindre än 50° mycket långsamt, men därefter hastigt.*
6. *I öfverensstämmelse med teorien har vattnets reflexionsförmåga ett maximum vid absorptionsbandet* $\lambda = 3\,\mu$.



Innehåll.

